

# ROUTES

**Ciments - Liants hydrauliques routiers - Bétons**

Travaux et équipements routiers - Terrassements - Aménagements urbains - Aéroports



## LE POINT SUR

Drôme : grâce à ses aspects multiformes, le béton apporte une large palette de solutions urbaines

## CHANTIER

Pour conquérir l'Est parisien, la ligne du tram T3 s'allonge de 14,5 km

## CHANTIER

Un béton noir pour le bus à haut niveau de services de Nîmes

## 2 ÉDITORIAL

### 3-6 LE POINT SUR

#### La Drôme

Grâce à ses aspects multifformes, le béton apporte une large palette de solutions urbaines



### 7-9 CHANTIER

#### Gard

Un béton noir pour le bus à haut niveau de services de Nîmes



### 10-13 CHANTIER

#### Paris

Pour conquérir l'Est parisien, la ligne du tramway T3 s'allonge de 14,5 km



### 14-17 CHANTIER

#### Hauts-de-Seine et Yvelines

Des dalles goujonnées en béton pour la ligne T6 du tramway sur pneus Châtillon-Viroflay



### 18-19 RÉFÉRENCE

#### Pyrénées-Orientales

À Clairac, un centre commercial valorisé par les bétons bouchardé et désactivé, les pavés béton et les jardinières en béton préfabriqué



### 20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : la mise en service du nouveau tronçon parisien Porte de Vincennes - Porte de la Chapelle du tramway T3 a eu lieu fin 2012.

## 12<sup>ème</sup> Symposium International des Routes en Béton

Le 12<sup>ème</sup> Symposium international des routes en béton se tiendra du 23 au 26 septembre 2014 à Prague (République Tchèque). Il est organisé par EUPAVE (European Concrete Paving Association) et le Czech Research Institute of Binding Materials Prague.

Ce Symposium a reçu le parrainage de l'Association Mondiale de la Route "AIPCR" et de l'ISCP (International Society for Concrete Pavements).

Placé sous le signe des « Solutions innovantes au profit de la société », le 12<sup>ème</sup> Symposium se fixe comme objectif de montrer aux participants que la route en béton est la réponse pour relever les nouveaux défis que sont la transition vers les nouveaux modes de transport et de mobilité (train, tram, bus, vélos et piétons), les exigences fixées pour les revêtements en matière de durabilité, de coût global, d'impacts sur l'environnement (clarté, réduction du réchauffement climatique, réduction de la consommation des véhicules) et de respect des caractéristiques de surface (clarté, confort, sécurité et intégration).

Ce symposium réunira des experts de l'industrie du ciment et du béton, des représentants de la maîtrise d'ouvrage publique et privée, des entreprises routières, des ingénieurs, des gestionnaires d'infrastructures, des chercheurs et des représentants des laboratoires routiers publics et privés.

Il aura lieu dans le cadre historique et magique de Prague, l'une des plus belles villes du monde : une ville de monuments et un large éventail de styles architecturaux à travers les générations. Depuis 1992, le centre historique de la ville a été inscrit au patrimoine mondial.

Les préparatifs vont bon train, conformément au calendrier prévu. Deux Comités s'attèlent à cette tâche :

- Un Comité d'Organisation, constitué de membres des deux entités organisatrices,
- Un Comité Scientifique et Technique, présidé par Alena Kohoutková, rassemblant des experts internationaux dans le domaine des chaussées en béton.

Le programme du Symposium s'articule autour de quatre grands thèmes et d'une session spéciale :

- Thème 1 : Revêtement à longue durée de vie.
- Thème 2 : Solutions pour la voirie et l'aménagement urbain.
- Thème 3 : Conception et construction.
- Thème 4 : Techniques d'entretien, de réhabilitation et de réparation.

L'appel à communication est ouvert jusqu'au 15 mai 2013.

Le Symposium sera accompagné d'une exposition et de visites techniques.

Pour s'informer, déposer un résumé, découvrir le programme technique ou le programme des accompagnants, réserver un hôtel, s'inscrire en ligne ou encore réserver un emplacement à l'exposition, les sites Internet [www.concreteroads2014.org](http://www.concreteroads2014.org) et [www.eupave.eu](http://www.eupave.eu) sont à votre disposition.

Joseph Abdo - Cimbéton

# CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense  
92974 Paris-la-Défense cedex

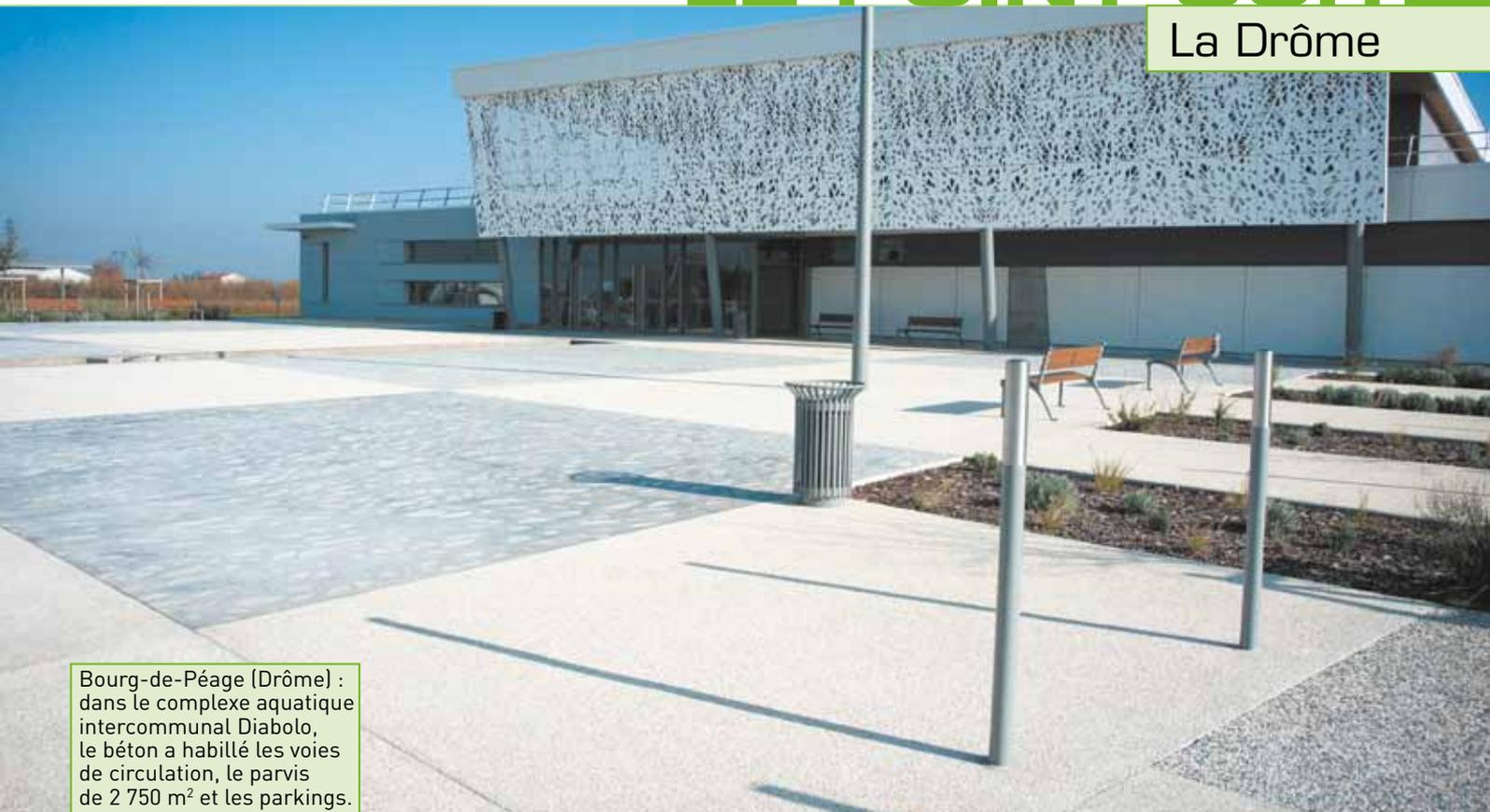
Tél. : 0155230100  
Fax : 0155230110

Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)

Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

Pour tous renseignements concernant les articles de la revue, contacter Cimbéton.

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély  
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique *Remue-ménages* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Joseph Abdo, Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : [mandorla@club-internet.fr](mailto:mandorla@club-internet.fr) - Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : soa-crea.fr - Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trimestre 2013 - ISSN 1161 - 2053 1994



Bourg-de-Péage (Drôme) : dans le complexe aquatique intercommunal Diabolo, le béton a habillé les voies de circulation, le parvis de 2 750 m<sup>2</sup> et les parkings.

## Drôme : grâce à ses aspects multifformes, le béton apporte une large palette de solutions urbaines

**Dans le département de la Drôme, les bétons se déclinent pour tous les usages urbains. Des équipements pour personnes déficientes visuelles aux centres-villes médiévaux, en passant par des gares SNCF ou routières, il existe une solution pour tous les aménagements.**

La vallée du Rhône, entre Lyon et Marseille, est assurément un axe de circulation qui donne l'impression que la nationale 7, le Rhône, les voies de chemins de fer et les autoroutes sont pressés de

gagner le Sud. Dans de nombreuses villes de la Drôme, le béton est un acteur essentiel de la politique d'aménagements : Tain-l'Hermitage, Romans-sur-Isère, Bourg-de-Péage, Saint-Vallier-sur-Rhône ou Montélimar.

**Tain-l'Hermitage : sur la place du Taurobole, des bétons désactivé, sablé et poli**



Tain-l'Hermitage : le parvis de la place est constitué, sur près de 4 000 m<sup>2</sup>, de bétons désactivé et sablé. Pas moins de 7 000 galets de granulométrie 60/80 ont été incrustés dans la dalle de béton de la fontaine à jets d'eau.

Sous les collines couvertes de ses célèbres cépages, la ville de Tain-l'Hermitage est traversée par la nationale 7, soumise à un fort trafic atteignant 13 000 véhicules par jour. Ville très ancienne, Tain-l'Hermitage compte aujourd'hui près de 6 000 habitants et est aussi connue pour être l'une des villes françaises où furent découverts des tauroboles, ces autels destinés aux sacrifices de taureaux pendant la période romaine. Élément important du patrimoine local, le taurobole de Tain est célébré par une vaste place qui vient d'être rénovée.



Tain-l'Hermitage : le fond de la seconde fontaine, au pied de la statue du Taurobole, a été réalisé en béton noir poli, avec incrustation de billes de verre.

« Jusqu'à présent, la place servait de parking en bordure de la nationale 7 » explique Nicolas Clarac, directeur des services techniques de la ville de Tain. « Il y avait environ 200 places de stationnement et des voies de circulation, mais sans vraiment de trottoirs autour, pour permettre aux piétons de déambuler. Sur le parvis, nous avons choisi le béton désactivé, notamment pour les effets de surface qu'il propose et pour que cette réalisation soit pérenne, carrossable et belle. Autre avantage : le béton est un matériau rapide à mettre en œuvre et intéressant au niveau de l'entretien sur le long terme ».

Le parvis et ses abords sont constitués, sur près de 4 000 m<sup>2</sup>, de béton désactivé, accompagné de béton sablé. La place a été agrémentée de deux fontaines posées à même le sol. Dans la dalle de béton de la fontaine à jets d'eau ont été incrustés 7 000 galets de granulométrie 60/80.

Quant au fond de la seconde fontaine, au pied de la statue du Taurobole, il a été réalisé en béton noir poli, avec incrustation de billes de verre.

« Nous avons des retours positifs concernant la réalisation de cette place : les habitants de Tain apprécient cette amélioration de leur cadre de vie, trouvent que l'endroit est pacifié et profitent des fontaines à brumisation les jours de forte chaleur ! » conclut Nicolas Clarac.

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**  
Mairie de Tain l'Hermitage

**Maîtrise d'œuvre :**  
JNC Sud et Safège

**Entreprise :**  
Sols Vallée du Rhône

**Fournisseur du béton :**  
Lafarge Bétons

**Fournisseur du ciment :**  
Lafarge Ciments

#### Romans-sur-Isère : du béton désactivé dans les ruelles médiévales

Les services de l'aménagement urbain de Romans-sur-Isère, ville de près de 34 440 habitants, ont une longue pratique du béton de voirie. Que ce soit pour l'hyper centre-ville, datant de la période médiévale et donc architecturalement très sensible, ou pour le reste de son tissu urbain plus moderne.

« Sur le centre-ville, nous travaillons sur un guide des préconisations des matériaux à utiliser suivant le statut des espaces à traiter (aires piétonnes, zones de rencontre, zones 30, voiries...) en lien avec l'ABF, dans le cadre de l'AVAP en cours » précise Bruno Rozeron, responsable du Service études urbaines de la ville de Romans. « À cet endroit, nous sommes contraints de respecter plusieurs impératifs : l'esthétique, le coût et la problématique de l'entretien et du nettoyage. Voilà pourquoi le béton présente de l'intérêt pour nos réalisations. C'est le cas sur la Côte Jacquemart, ruelle historique datant du XI<sup>e</sup> siècle, possédant un caniveau central typique et fortement en pente, où le béton désactivé a remplacé l'enrobé. Grâce à l'utilisation de gros granulats, en combinaison avec un calepinage de pavés porphyre existants et employés dans la ville depuis au moins quarante ans, nous pouvons assurer une bonne adhérence malgré la déclivité ».

Le béton prêt à l'emploi a été coulé sur 15 centimètres d'épaisseur et agrémenté, de loin en loin, de gros galets incrustés qui rappellent les « têtes de chats », ces galets du Rhône fendus en deux, déjà employés dans le centre historique de la ville.

« Comme nous utilisons un granulats originaire de la région et naturellement clair, on obtient un surcroît de luminosité jusque dans les rues les plus étroites de la vieille ville. Si le gros granulats est préféré en raison de la forte pente des rues médiévales de la ville, les autres espaces urbains profitent aussi des apports des bétons désactivés et sablés, mais dans une facture alors plus classique, avec des granulats plus fins, mais tout aussi clairs : nous y avons recours généralement pour



Romans-sur-Isère : la combinaison béton désactivé gros granulats/caniveau central en pavés de porphyre permet de conserver l'aspect médiéval de la rue et d'apporter une facilité d'entretien et une bonne adhérence malgré la pente.



Bourg-de-Péage : sur le parvis du complexe Diabolo ont été réalisés, à l'aide de pochoirs sur le béton sablé de couleur claire, des motifs reproduisant les mêmes dessins que l'architecte a utilisés pour orner la façade du bâtiment.

les espaces piétonniers ou pour les zones à vitesse limitée à 20 km/h » conclut Bruno Rozeron.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**

Mairie de Romans-sur-Isère

**Maîtrise d'œuvre :**

Eiffage Bourg-lès-Valence

**Entreprise :**

Sols Vallée du Rhône

**Fournisseur du béton :**

Béton Rhône-Alpes (groupe Vicat)

**Fournisseurs du ciment :**

Vicat Ciment et Lafarge Ciments

intercommunal Diabolo. L'ensemble est desservi par une voirie neuve qui met le béton largement à l'honneur.

D'abord sur les voies de circulation proprement dites, puis sur le parvis de 2 750 m<sup>2</sup> et jusque sur les parkings.

« Le complexe aquatique est le premier équipement de la zone de loisirs, dont les abords constitueront, à terme, l'entrée principale. C'est pour cela que nous avons privilégié l'aspect qualitatif. Au pied du bâtiment, le parvis se remarque grâce à la mise en œuvre de plusieurs bétons et finitions. Nous avons souhaité retrouver la tonalité minérale préconisée par l'architecte qui a construit le bâtiment. Ainsi, au sol, ont été réalisés, à l'aide de pochoirs sur le béton sablé de couleur claire, des motifs reproduisant les mêmes dessins que l'architecte a utilisés pour orner la façade du bâtiment » précise Franck Bioteau, responsable du pôle Environnement et Cadre de Vie à la Communauté de communes du canton de Bourg de Péage.

Et Sébastien Boyron, qui a suivi le chantier pour la société Sols Vallée du

Rhône, de conclure : « Sur les parkings, nous avons proposé un produit nouveau, le Via Verde®, un béton monolithique coulé en place et comportant des alvéoles quadrilobées de 15x15 cm. Dans ces alvéoles, du gazon a été semé afin de permettre l'infiltration des eaux : cela assure la rigidité et la tenue du sol, sans empêcher l'herbe de pousser, et confère à l'espace parking, une fois les végétaux bien implantés, l'aspect d'un jardin sur lequel les voitures se garent ».

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**

Communauté de communes de Bourg-de-Péage

**Maîtrise d'œuvre :**

Artélia et Sinequanon

**Entreprise :**

Sols Vallée du Rhône

**Fournisseurs du béton :**

Béton Rhône-Alpes (groupe Vicat) et Drôme Béton

**Fournisseur du ciment :**

Vicat Ciment

### Saint-Vallier-sur-Rhône : des bétons de textures et couleurs différentes pour la gare SNCF

Tout au nord du département, Saint-Vallier, ville de 4 000 habitants, a décidé de rénover les accès à sa gare SNCF.

« Nous nous sommes servis, à la fois, de la couleur et de la texture du béton pour différencier les usages » détaille Gilles Quirin, gérant d'Opus Aménagement, bureau d'études qui a conçu le nouveau parvis de la gare. « Au niveau de la couleur, les parties circulées par les voitures et les places de stationnement des taxis ont fait l'objet d'un traitement en béton de tonalité sombre, tandis que les espaces piétonniers ont été réalisés en béton de tonalité claire. Et au niveau de la texture, nous avons privilégié le béton désactivé pour les parties circulées par les voitures et le béton sablé, plus doux dans la finition, pour les parties piétonnes : cette approche a permis d'accentuer la lisibilité des différents espaces ».

L'ensemble du parvis rénové, réalisé sur un terre-plein longeant la route

### Bourg-de-Péage : des bétons créatifs pour le parvis et les parkings

C'est dans cette ville de 10 000 habitants, à quelques kilomètres au sud de Romans et en surplomb de l'autoroute, que la communauté de communes a décidé d'implanter une zone de loisirs : le complexe aquatique



Bourg-de-Péage : le béton monolithique coulé en place comporte des alvéoles quadrilobées de 15x15 cm, remplies de gazon permettant une infiltration des eaux.

Nationale 7, donne l'effet d'un discret patchwork posé à même le sol avec différents coloris de béton, allant du beige clair à l'antracite, en passant par le gris souris.

« Le béton a redonné incontestablement un air de modernité à la gare. C'est un matériau bien placé qualitativement, mais aussi en termes de prix, ce qui le rend attractif pour des aménageurs comme nous » conclut Gilles Quirin.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**

Gares et Connexions

**Maître d'œuvre :**

Opus Aménagement

**Entreprise :**

Sols Vallée du Rhône

**Fournisseur du béton :**

Lafarge Bétons

**Fournisseur du ciment :**

Lafarge Ciments



Saint-Vallier-sur-Rhône : les couleurs des bétons accentuent la lisibilité des espaces. Tonalité sombre pour les parties circulées par les voitures et les places de stationnement des taxis, tonalité claire pour les passages piétons. De leur côté, les textures aident à différencier les usages : béton désactivé pour les parties dédiées aux voitures et béton sablé pour les parties piétonnes.

### Montélimar : du béton imprimé au service des déficients visuels

Montélimar, ville de 36 000 habitants, se préoccupe beaucoup des personnes à mobilité réduite (PMR) et, plus particulièrement, de celles qui sont déficientes visuelles. C'est pourquoi des aménagements ont été réalisés sur le réseau de bus nommé « Montélibus », créé en 2010 et comportant 6 lignes régulières.

« À Montélimar, toute nouvelle réalisation est conçue en pensant aux personnes déficientes visuelles. Ainsi, les arrêts de bus et les trottoirs qui y conduisent ont été dotés d'équipements qui devaient impérativement leur être accessibles » explique Jean-Paul Michel, technicien du bureau d'études voirie de la ville de Montélimar.

C'est la technique du béton imprimé qui a été retenue pour réaliser ces aménagements : le motif utilisé pour les arrêts de bus est celui de dalles de couleur beige clair, alors que pour les trottoirs, il s'agit d'un motif de pavés de couleur rouge.

Les équipements spécifiques pour les déficients visuels ont été directement



Montélimar : sur les arrêts de bus a été utilisé un béton imprimé, avec motif de dalles de couleur beige clair, intégrant en surface du béton des stries pour indiquer aux personnes déficientes visuelles l'endroit où attendre le bus.

intégrés dans les dalles : des stries en surface du béton pour les arrêts de bus et un profilé en inox cintré sur les trottoirs. Le béton a été coulé sur 20 cm d'épaisseur pour les parties circulées par les bus et sur 12 cm pour les parties piétonnes. Il a été choisi pour sa durabilité et son rapport qualité-prix, comme le confirme Jean-Paul Michel : « Le béton est un matériau qui résiste bien dans le temps et, au final, il n'est pas forcément plus cher qu'un enrobé ». ■

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre :**

Ville de Montélimar

**Entreprise mandataire :**

Eiffage Montélimar

**Entreprise :**

Sols Vallée du Rhône

**Fournisseur du béton :**

Lafarge Bétons

**Fournisseur du ciment :**

Lafarge Ciments



Nîmes (Gard) : la ligne T1 compte 9 stations et s'étend sur 4 kilomètres reliant, en 12 minutes, la sortie de l'autoroute Nîmes-Centre (A54) aux célèbres Arènes.

## Un béton noir pour le bus à haut niveau de services de Nîmes

**La réalisation des bétons des plateformes du transport en commun en site propre de la ville de Nîmes a rencontré d'importantes difficultés. Celles-ci ont réussi à être surmontées grâce à l'implication de tous les acteurs du projet. Voici l'histoire de ce cas d'école.**

Le développement des modes de déplacements collectifs dans les grandes villes permet au béton de voirie de faire toujours plus la preuve de sa parfaite pertinence. Ainsi à Nîmes, cité en plein développement comme sa rivale montpelliéraine, il a été décidé de mettre en service un transport en commun en site propre (TCSP) pour mieux irriguer son territoire et tenter de limiter l'entrée des voitures dans un centre-ville complètement saturé.

« Pour la ville et l'agglomération, il s'agit d'un chantier majeur. Conçu sur mesure, par et pour Nîmes Métropole, Tango+ est un bus à haut niveau de service (BHNS) qui répond à trois objectifs : réduire le trafic automobile, préserver l'environnement et apporter un service de transport rapide et économique aux usagers » explique Gaëtan Pellequer, chargé de mission de Nîmes Métropole sur ce

dossier. « Avec des enjeux très forts : en effet, la ligne de bus doit relier, à la fois, les principaux centres économiques de l'agglomération et le centre-ville de Nîmes. Nous espérons ainsi que le dispositif incitera les automobilistes à laisser leurs véhicules sur les parkings prévus à leur intention, afin qu'ils se déplacent ensuite grâce à ce bus. Celui-ci fonctionnera sept jours sur sept, de 5h30 à 1h, sur le mode du tramway, avec une fréquence importante, toutes les cinq minutes en heure de pointe et bénéficiera d'une priorité absolue sur tous les autres véhicules, grâce à une détection aux feux de circulation ». La première ligne, nommée T1 et inaugurée fin septembre 2012, compte 9 stations et s'étend, pour l'heure, sur 4 kilomètres reliant, en 12 minutes, la sortie de l'autoroute Nîmes-Centre (A54) aux célèbres Arènes. Le service est assuré par dix bus à haut niveau de service de la gamme Créalis

Néo (bus produits par la société Irisbus, filiale du constructeur italien Iveco), d'une capacité de 135 places chacun.

Le trafic est actuellement de 7 000 voyageurs/jour et devrait passer, dans sa configuration définitive en 2016 à 15 000 voyageurs/jour.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**  
Nîmes Métropole

**Maîtrise d'œuvre :**  
Cabinet d'architecture  
Gautier+Conquet

**Constructeur des rames :**  
Irisbus (filiale d'Iveco)

**Mise en œuvre des bétons désactivés :**  
Sols Méditerranée

**Fournisseur du béton :**  
Lafarge Bétons

**Fournisseur du ciment :**  
Lafarge Ciments



© Stéphane Ramillon

La chaussée en béton est faite de deux dalles superposées de 18 cm d'épaisseur chacune : l'une en béton BC2 (sous-couche) et l'autre en BC5 (surface), avec des goujons au niveau des joints de retrait/flexion afin de consolider la bande de roulement.

### Éviter à tout prix le phénomène d'orniérage

Pour réaliser la bande de roulement des stations où s'arrêtent les bus, une technique innovante a été utilisée pour la première fois dans le Gard. Avec pour objectif de limiter la dégradation de la chaussée causée par le trafic.

« Le bus à haut niveau de service est équipé d'un guidage optique pour les arrêts en station, grâce à une caméra qui lit le marquage sur la chaussée (voir encadré). Nous avons longuement analysé ce qui s'est passé à Rouen, la seule ville qui disposait avant nous de ce système en France et qui a rencontré de sérieux problèmes d'orniérage sur les chaussées en enrobé des stations » détaille Cédric Martinet, ingénieur travaux en charge du suivi de la maîtrise d'œuvre du chantier. « En effet, le guidage optique, qui prend le contrôle du bus à l'arrivée en station, en lieu et

place du chauffeur, impose aux roues de suivre chaque fois le même tracé, au centimètre près. L'objectif est que le bus s'arrête à moins de 5 centimètres du quai. Mais comme il fait 18 mètres de long, est très lourd et doit impérativement freiner et s'immobiliser au même endroit, cela produit de fortes contraintes sur une petite portion, toujours identique, de la plateforme ».

### Une chaussée avec deux dalles béton superposées

« Avant d'envisager d'utiliser des enrobés et pour tenir compte de l'expérience vécue à Rouen, nous nous sommes interrogés sur la structure qui pourrait résister le mieux à ce type de trafic très spécifique. Nous avons alors étudié trois options : le béton armé, le béton goujonné et les enrobés à modules élevés. Nous avons décidé de privilégier la résistance, en réalisant

une chaussée en béton composée de deux dalles superposées de 18 centimètres d'épaisseur chacune : l'une en béton BC2 en sous-couche et l'autre en BC5 en surface, avec des goujons au niveau des joints de retrait/flexion afin de consolider la bande de roulement » poursuit Cédric Martinet. Restait à résoudre le problème de la couleur, autre spécificité du chantier. Le guidage optique de ces bus spéciaux s'appuie, en effet, sur un tracé peint au sol qui nécessite un fort contraste visuel : les caméras du bus doivent littéralement « lire » les informations au sol et prendre, en toute sécurité, le relais du conducteur pour placer le véhicule à la bonne place. « Nous avons donc réalisé un béton C35-45 foncé, de façon à ce que le contraste soit net entre la couleur du sol et la peinture blanche de guidage. Pour cela, nous avons intégré deux éléments dans la formule du béton à 330 kg de ciment : un basalte concassé, granulats naturellement noir, et 4% de colorant noir » explique Cédric Martinet.

### L'implication active de tous les intervenants

La première problématique rencontrée fut la gestion de la superposition des deux dalles de béton, puisqu'il avait été décidé de ne pas les solidariser entre elles afin qu'elles puissent travailler indépendamment l'une de l'autre. Or, bien que coulées à trois jours d'intervalle, les dalles semblaient collées l'une sur l'autre, comme si elles avaient été coulées frais sur frais. Résultat : quand le BC2 a fait son retrait, la fissuration est remontée dans la couche BC5.

Dès la découverte de ce problème, il a été décidé de mettre en œuvre une technique différente, avec l'application d'une double couche de cure entre les deux dalles pour que l'une puisse bouger sans entraîner l'autre.

La seconde problématique est l'apparition de fissures à la surface du béton désactivé. Des fissures modestes certes, mais qui risquaient de laisser l'eau entrer jusqu'au cœur de la dalle et permettre alors au gel de faire des dégâts sur le long terme.

Ce dont témoigne Cédric Scanzi,



© Stéphane Ramillon

La pulvérisation du produit de cure sera suivie de la pose d'un film polyane à la surface du béton, pour protéger ce dernier de tout phénomène de dessiccation.



© Stéphane Ramillon

La couleur noire du béton désactivé de la chaussée des stations a été obtenue par l'adjonction de 4% de colorant noir et des granulats concassés de basalte.

technicien qualité de Lafarge : « Nous avons été confrontés à ce problème de fissurations en période hivernale, principalement entre les mois de novembre et de mars. Elles n'étaient pas traversantes, mais s'étendaient en surface sur plusieurs centimètres et de façon aléatoire. Nous avons eu du mal à comprendre ce qui se passait. Nous avons donc décidé de passer en revue toutes les pistes possibles : le vent, la porosité du basalte, le profil des dalles, les fibres polypropylène utilisées pour éviter les fissurations... C'était un dossier très intéressant que nous avons géré en partenariat avec les différents intervenants de la filière ciment-béton : chacun, à son niveau, a participé à la réflexion, afin de parvenir à identifier la cause du problème et d'apporter alors une solution. Nous avons alors réalisé des planches d'essais grandeur nature à la centrale de béton prêt à l'emploi,

afin de comprendre ce qui arrivait ».

Des tests ont donc été menés sur la formulation du béton, le ciment, les granulats, le produit désactivant, le colorant, le taux d'humidité du granulat... Le tout en reproduisant les conditions climatiques qui avaient été celles du coulage, c'est-à-dire avec un mistral important (70 à 80 km/h), un fort ensoleillement et un taux d'hygrométrie faible dans l'air.

« Nous avons effectué des essais pour voir si la formulation ne conduisait pas à un retrait trop important : à 400 micromètres/mètre, ce n'était pas le cas. Nous avons aussi constaté qu'en ôtant le colorant, nous avons moins de fissures. On s'est aussi demandé si les granulats de basalte n'étaient pas responsables de l'absorption d'un peu d'eau et de l'accélération de la dessiccation. Mais la réponse fut négative. Finalement, nous avons



© Stéphane Ramillon

Le système de guidage Optiguide permet au bus de suivre, avec une très grande précision, une trajectoire idéale peinte sur la chaussée et d'accoster ainsi au plus près des quais des stations.

compris que les conditions météo étaient réellement le facteur principal de la problématique : nous avons donc conclu qu'il fallait, après la pulvérisation du produit de cure, placer un film polyane à la surface du béton, afin de le protéger de tout phénomène d'évaporation d'eau lorsqu'il y avait conjonction d'un fort mistral et d'un grand ensoleillement. Depuis la mise en évidence de ce constat, tout est rentré dans l'ordre et nous avons alors pu continuer le coulage du béton sans problème » conclut Cédric Scanzi. ■

### L'ASSISTANCE À LA CONDUITE PAR GUIDAGE OPTIQUE



© Stéphane Ramillon

L'accostage des bus dans les stations est effectué grâce au système de guidage Optiguide mis en place par la Division « Mobility and Logistics » du Secteur Infrastructure & Cities de Siemens France. Ce système permet au véhicule de suivre, avec une très grande précision, une trajectoire idéale peinte sur la chaussée et d'accoster ainsi au plus près des quais des stations. Il répond aux attentes d'accessibilité de tous, notamment des personnes à mobilité réduite. La trajectoire, lue par une caméra située à l'avant du véhicule, est analysée afin de déterminer l'écart entre le marquage au sol et la position du véhicule. La lacune entre les portes et le quai est optimisée pour ne pas dépasser 5 cm. Cette qualité d'accostage est assurée, à chaque arrêt, avec une disponibilité supérieure à 99,98% !

Le guidage Optiguide peut être intégré sur tout type de bus, quelle que soit sa longueur (12 m, 18 m ou 24 m), et est particulièrement adapté aux lignes avec stations à quai haut (23 à 30 cm).



Station du tramway T3 à la Porte d'Ivry : le premier tronçon, ouvert en 2006, se terminait ici. Il vient d'être prolongé vers l'Est jusqu'à la Porte de la Chapelle.

## Pour conquérir l'Est parisien, la ligne du tram T3 s'allonge de 14,5 km

**Mené sur plusieurs fronts à la fois, le chantier du prolongement du tramway parisien est particulièrement étendu, mais très morcelé, et avec une emprise souvent étroite, maintien de la circulation oblige. Les équipes de travaux doivent donc adopter une organisation rigoureuse, conjuguée à de bonnes capacités d'adaptation pour faire face aux aléas. Sans oublier le recours à des solutions « gain de temps », comme celle de carrefours préfabriqués en béton.**

**M**ise en service en décembre 2006, la ligne de tramway T3 (ou tramway des maréchaux sud / TMS) relie le pont de Garigliano (15<sup>ème</sup> arrondissement) à la Porte d'Ivry (13<sup>ème</sup> arrondissement). Dès sa première année d'exploitation, elle a transporté 25 millions de passagers, avec une moyenne de 100 000 voyageurs par jour en semaine et 70 000 les jours de week-end, chiffres qui n'ont cessé de progresser depuis pour atteindre actuellement une moyenne de 137 000 voyageurs / jour en semaine. Prévu dès l'origine, son prolongement

vers l'Est a lieu sous la forme de deux lignes distinctes afin de faciliter son exploitation. Rebaptisée T3a, la ligne actuelle est prolongée de la Porte d'Ivry à la Porte de Vincennes. La nouvelle ligne T3b relie, pour sa part, la Porte de Vincennes à la Porte de la Chapelle.

Le tronçon initial de 7,9 km, ouvert en 2006, comporte 17 stations. Le prolongement de 14,5 km comprend 26 stations. Le trafic attendu est de 165 000 voyageurs / jour sur la partie prolongée, en complément des 140 000 voyageurs / jour sur la partie existante.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**  
Mairie de Paris et RATP

**Maîtrise d'œuvre (partie RATP) :**  
Xelis

**Entreprises :**  
Groupement Guintoli (mandataire)/  
NGE Génie Civil, Groupement Colas/  
Screg/Sacer, Colas Rail

**Fournisseurs du béton :**  
Holcim Bétons (centrales de Pantin  
et Tolbiac) et Cemex (centrales  
d'Ivry et Aubervilliers)

**Fournisseur du ciment :**  
Holcim Ciments



Rebaptisée T3a, la ligne actuelle vient d'être prolongée de la Porte d'Ivry à la Porte de Vincennes (en rouge), alors que la nouvelle ligne T3b relie la Porte de Vincennes à la Porte de la Chapelle (en bleu). Au total : 22,4 km et 43 stations.

### Un nouveau tronçon bien plus complexe

Sur cette opération, la Mairie de Paris assure la maîtrise d'ouvrage des aménagements urbains et des ouvrages d'art, ainsi que le pilotage de l'opération. La RATP se charge de la maîtrise d'ouvrage du système de transport : plate-forme, stations, distribution d'énergie électrique, systèmes... La maîtrise d'œuvre est confiée à trois entreprises pour

la partie Mairie de Paris et à Xelis, société d'ingénierie de la RATP.

« La réalisation des infrastructures a été découpée en trois lots. Deux d'entre eux ont été remportés par NGE - Guintoli pour le tronçon Porte d'Ivry / Porte des Lilas. Le troisième lot l'a été par le groupement Colas / Screg / Sacer. De son côté, Colas Rail se charge de la mise en œuvre des 40 000 traverses en béton, des 60 km de rails, du béton de calage des rails, des divers revêtements et des dalles



L'approvisionnement en béton prêt à l'emploi destiné aux quais des stations a été effectué au moyen d'un camion-malaxeur et d'une pelle mécanique.

préfabriquées en béton intégrant les rails pour certains carrefours cruciaux » explique Jean-Philippe Huet, responsable de la maîtrise d'ouvrage du projet à la RATP.

Ce prolongement est beaucoup plus complexe à réaliser que le tronçon initial, en raison du grand nombre d'ouvrages d'art sur lesquels il fallait intervenir. Ainsi, sous la maîtrise d'ouvrage de la Mairie de Paris, le viaduc routier de la Porte de Vitry a été démoli, les tunnels routiers de la Porte de Charenton et de la Porte de la Chapelle comblés, les ponts Masséna, Panhard & Levasseur et National élargis, un pont créé au dessus du canal de l'Ourcq, certains carrefours réaménagés...

Dans le 19<sup>ème</sup> arrondissement, le bâtiment des entrepôts Calberson, long de 800 mètres, a été coupé en deux. « Une voie de 25 m de large a ainsi été créée entre les deux parties du bâtiment pour permettre au tramway la desserte de la future gare RER Eole Evangile en 2015 » précise Jean-Philippe Huet.

À cela s'ajoute la transformation du stade Ladoumègue, près de la Porte de Pantin (19<sup>ème</sup> arrondissement), afin d'héberger un centre de maintenance et de remisage d'une capacité de 50 rames.

### Un chantier mené sur plusieurs fronts

« En partie courante, la plate-forme associe 25 cm d'épaisseur de béton de structure de classe 3 (BC3) soit 31 000 m<sup>3</sup> au total à 23 cm de béton de calage autour des traverses bi-blocs de la voie ferrée (20 000 m<sup>3</sup>) et à 17 cm de revêtement. Ce revêtement est majoritairement du gazon, sauf en station et au niveau des traversées piétonnes où il s'agit de dalles et de pavés en granit. Selon les carrefours, on emploie du béton désactivé ou des enrobés anti-orniérants. Sur les ponts, du chêne français brut de sciage a été préféré afin d'éviter toute surcharge » précise Jean-Philippe Huet.

Pour Louis-Xavier Laigle, directeur de travaux chez NGE - Guintoli : « Ce chantier s'est déroulé sur deux ans et demi, dont une année pour le bétonnage proprement dit sur 8 km.



Les abords des stations ont d'abord été coulés avec un béton C30/37 sur lequel ont été posées des dalles en granit.

En période de pointe, nous avons jusqu'à 70 personnes, regroupant les compétences terrassement-VRD (Guintoli) et génie civil (NGE Génie Civil). Pour la partie bétonnage, deux équipes intervenaient le plus souvent en parallèle. Parfois trois lorsque de nombreuses petites zones devaient être traitées, ou seulement une pour réaliser les grandes surface d'un seul tenant. Cette couche de 25 cm de BC3 serait l'équivalent d'une couche de forme dans le domaine routier. Elle n'est pas armée, sauf dans certaines zones sensibles réclamant un renforcement comme les grands carrefours (renforts sous les bordures rabassées) et au niveau des ouvrages situés au-dessus des voies d'Austerlitz. Le béton utilisé a une formulation

*courante : c'est un C25/30 dosé à 330 kg de ciment. Il provient de deux centrales Cemex, celles d'Ivry et d'Aubervilliers, choisies selon leur proximité vis-à-vis du chantier et de leurs disponibilités. En raison du morcellement du chantier, les cadences sont très variables et comprises entre 150 et 1 200 m<sup>3</sup> de béton mis en œuvre par jour. Au niveau de la reprise de bétonnage, la jonction entre deux parties successives en béton s'effectue au moyen d'une barbotine d'accrochage ».*

De son côté, le groupement Colas / Screg / Sacer est intervenu sur quatre fronts de ce chantier, à la fois pour gagner du temps et tenir les délais. « Après le réglage du fond de forme, le béton de structure de la plate-forme est coulé sur une épaisseur constante de 25 cm et sur une largeur variant de 6 à 7,50 m. Ce coulage s'effectue en pleine masse entre les limites de terrassement. Quelques zones du chantier ont été coffrées, ainsi qu'autour de certains éléments. Comme la portance du fond de forme était suffisante, les toupies roulaient directement dessus en marche arrière jusqu'au point de livraison, pour déverser ensuite le béton au fur et à mesure à l'avancement. Pour les zones plus difficiles d'accès, une pompe à béton a été employée. Notre co-traitant, Colas Génie Civil, s'est chargé de la réalisation des pieux, des têtes des massifs des LAC (lignes aériennes d'alimentation en courant), des quais de station et du coulage du BC3 » explique Thomas Baroin, directeur de travaux de ce groupement.

Une fois les traverses bi-bloc

positionnées sur cette plate-forme et les rails mis en place avec une précision millimétrique, il ne reste plus qu'à les immobiliser par le coulage d'un béton de calage. « Il s'agit d'un C35/45 fourni par les centrales de béton prêt à l'emploi d'Holcim Bétons les plus proches, principalement celles de Pantin et de Tolbiac. Il était indispensable d'avoir recours à plusieurs centrales pour approvisionner au mieux ce chantier très étendu et sécuriser les approvisionnements. Il en est de même pour le revêtement en béton désactivé des carrefours » commente Olivier Fèvre, chef de projet de Colas Rail.

### Des carrefours en béton préfabriqué

« Dans le cadre de ce projet, les services de l'Etat nous ont demandé d'améliorer la visibilité des carrefours complexes, autrement dit ceux qui n'étaient pas en croix : les carrefours giratoires, ceux où se raccordent 5, 6 ou 7 branches, etc. Afin de trancher visuellement sur la couleur noire du reste des chaussées, un béton désactivé de teinte claire a été choisi. Il est le plus souvent mis en œuvre sur site, mais pour les carrefours les plus stratégiques, où il n'était pas envisageable de bloquer la circulation automobile de façon prolongée, une autre solution a été retenue pour onze carrefours : il s'agit de dalles préfabriquées en béton, identiques à celles déjà utilisées pour le premier tronçon de cette ligne. Pour les petits



Le choix de différents matériaux caractérise le parcours du T3. Dans les stations et au niveau des traversées piétonnes, on trouve des dalles et pavés en granit (à gauche). Dans les carrefours classiques, du béton désactivé (au centre). Dans les carrefours stratégiques, des dalles préfabriquées en béton (à droite).



Les abords des stations sont réalisés au moyen de deux bétons désactivés différents, afin d'obtenir une opposition de teintes : l'une claire, l'autre foncée.

carrefours, trois dalles assemblées dans le sens de la largeur suffisent : une par voie et une dalle d'interconnexion. Pour les carrefours de plus grande taille, six voire neuf dalles étaient nécessaires » explique Jean-Philippe Huet.

Préfabriquées en Belgique par Préfarails, ces dalles mesurent de 6 à 16 m de long et 3,50 m de large. Intégrant le socle en béton, le revêtement en béton désactivé, les bordures granit et les rails, elles pèsent de 20 à 25 tonnes. « La dalle de structure, qui fait 30 cm d'épaisseur, est coulée à l'envers en usine. Le rail est enrobé de jaquettes en caoutchouc provenant de pneus recyclés, puis immobilisé par du béton. Dès le lendemain, le moule est retourné pour

la désactivation superficielle du béton et sera décoffré ultérieurement » explique Olivier Fèvre.

Au niveau des carrefours, la pose de ces dalles préfabriquées s'effectue sur des cales permettant leur réglage avec une grande précision, de l'ordre du millimètre. « L'injection d'un béton autoplaçant (BAP) sous la dalle assure son scellement au support. Chaque dalle correspond à une voie. Des dalles intermédiaires viennent recouvrir le béton de scellement entre deux dalles voisines. Pour les carrefours les plus importants, les dalles sont disposées à la suite les unes des autres. Après le soudage des rails, le béton de scellement vient solidariser les dalles entre elles » précise Olivier Fèvre.



La plate-forme associe 25 cm de béton de structure BC3 à 23 cm de béton de calage autour des traverses de la voie ferrée et 17 cm de revêtement en gazon.

Cette technique présente l'avantage de diviser le temps d'intervention par deux au niveau de la plupart des carrefours (6 semaines au lieu de 12) et même par trois au niveau de la Porte de Vitry (4 semaines au lieu de 12).

La mise en service de ce nouveau tronçon Porte de Vincennes – Porte de la Chapelle a eu lieu le 15 décembre 2012. Etape suivante : le prolongement du T3 de la Porte de la Chapelle à la Porte d'Asnières, prévu à l'horizon 2017 sur 4,3 km. ■

### UN CHANTIER EXIGEANT COMPÉTENCES ET RÉACTIVITÉ

« Il s'agit d'un chantier qui n'est pas techniquement très difficile, mais qui demande beaucoup de logistique. Il est très morcelé et soumis à d'importantes contraintes de phasage. La définition des emprises a eu lieu lors de réunions sur site avec toutes les parties prenantes (voirie Ville de Paris, Police, Pompiers, RATP...) qui fixent des contraintes que nous essayons d'adapter aux réalités du chantier. Une des principales difficultés est le manque de place en raison de l'étroitesse des emprises. Avec une plate-forme à construire large de 6,50 à 7 mètres, un gabarit routier de 2,50 m pour le passage du camion-toupie et les barrières de protection, il ne reste vraiment plus grand chose ! Cela implique aussi le recours à des équipes à la fois performantes sur le plan technique, très présentes et attentives sur le chantier, fortement réactives pour agir au mieux face aux différents aléas rencontrés » souligne Louis-Xavier Laigle, directeur de travaux de NGE - Guintoli.

Une opinion partagée par Thomas Baroin, directeur de travaux du groupement Colas / Screg / Sacer : « Les retours d'expérience liés à la réalisation du premier tronçon du T3 nous ont servi à mieux mesurer l'ampleur de ce chantier et, en amont, à mieux cerner les importants besoins au niveau de notre bureau d'études, chargé de nous fournir de nombreux plans d'exécution très détaillés. Ensuite, en termes d'organisation, il faut une présence humaine importante et prévoir beaucoup d'encadrement car, bien qu'il s'agisse d'un chantier de grande envergure, il y a beaucoup de petits détails à régler ».

Tramway sur pneus T6 Châtillon-Viroflay : les espaces de circulation sont bien répartis entre la plateforme du tramway implantée en position centrale, la piste cyclable (à gauche) et la voie de circulation routière (à droite).

## Des dalles goujonnées en béton pour la ligne T6 du tramway sur pneus Châtillon-Viroflay

**Longue de 14 km, la ligne de tramway T6 reliera Châtillon à Viroflay. Réalisée à l'aide d'une machine à coffrage glissant, sa couche de roulement adopte une forme en toit, sauf dans les virages où elle passe à un profil de type vélodrome. Le rail de guidage du tramway sur pneus est encastré avec une précision millimétrique dans cette dalle de béton goujonné à l'uni soigné.**

**P**révu pour circuler fin 2014, toutes les quatre minutes en heures de pointe et toutes les sept minutes en heures creuses, le tramway T6 est dimensionné pour transporter chaque jour 82 000 personnes. Alimenté en électricité par une ligne aérienne de contact (LAC), ce tramway roulera à une vitesse commerciale de 20 km/h. Il devrait ainsi mettre, en moyenne, une quarantaine de minutes pour parcourir la totalité des 14 km séparant ses deux terminus, implantés à Châtillon et à Viroflay. Les neuf communes desservies, réparties sur seulement deux départements (Hauts-de-Seine et Yvelines), totalisent 21 stations dont deux souterraines.

« Le choix d'un tramway sur pneus à gabarit réduit, c'est-à-dire faisant 2,20 m de large sur 2,89 m de haut, hors pantographe, s'explique par la nécessité de traverser un tissu urbain dense sur plus de la moitié de son itinéraire, d'affronter des pentes importantes dans les secteurs de Châtillon et Viroflay et, plus ponctuellement, des virages relativement serrés. Outre ses performances en termes d'adhérence, cette solution a été retenue car elle limite l'ampleur des travaux d'ouvrages d'art sur le projet. La structure en aluminium et en matériaux composites des rames conduit à un gain de poids, ce qui réduit notamment l'impact des travaux d'adaptation sur les ouvrages

de franchissement existants, tels que le pont sur la RD 2 à Clamart ou celui sur la RN 118 à Vélizy-Villacoublay » explique Roger Ndouop Molu, chef de projet tramway T6 à la RATP.

Sur cette opération, la société alsacienne Lohr-Industrie va fournir 28 rames de six modules passagers (252 passagers par rame dont 60 places assises).

Sur tout son parcours, ce projet de tramway s'accompagne d'un réaménagement complet des espaces publics de façade à façade. Il permet, à la fois, de revaloriser les axes empruntés et de mieux répartir les espaces de circulation entre automobiles, transports en commun, cyclistes et piétons.



Le T6 sur pneus, qui fonctionnera à l'aide d'un guidage mécanique des essieux par rail central, roulera à 20 km/h entre les stations de Châtillon et Viroflay.

### Des maîtres d'ouvrage coordonnés par le Conseil Général des Hauts-de-Seine

Ce projet est porté par trois maîtres d'ouvrage : le Conseil Général des Hauts-de-Seine, le Conseil Général des Yvelines et la RATP. Les deux premiers réalisent l'infrastructure du système de transport et les aménagements urbains sur leurs territoires respectifs. La RATP se charge du système de transport ainsi que de la construction du site de maintenance et de remisage. Ces trois maîtres d'ouvrage sont coordonnés par le Conseil Général des Hauts-de-Seine, qui est responsable de la cohérence technique et financière, ainsi que du respect du calendrier, sous le contrôle du STIF, le Syndicat des Transports d'Île-de-France.

Dans les Hauts-de-Seine, la plateforme du tramway est le plus souvent implantée en position centrale. Elle est bordée d'un côté par les deux voies de circulation et de l'autre par une contre-allée de desserte locale, dans laquelle la circulation se fera en sens unique. Celle-ci accueille aussi un itinéraire cyclable bidirectionnel.

Dans les Yvelines, la plateforme du tramway se trouve également le plus souvent en position centrale. Une piste pour piétons et vélos longe la ligne de tramway et relie les stations entre elles. Les voitures circulent de part et d'autre du terre-plein central sur une voirie reconfigurée en boulevard urbain.

« Ce tramway circulera en site propre

sur l'essentiel de son trajet, sauf sur un tronçon. Dans la route du Pavé Blanc à Clamart, la voie est mixte en raison de son étroitesse et de la présence d'un virage serré. Cette voie mixte n'accepte toutefois que les véhicules de desserte locale » précise Roger Ndouop Molu.

Le tramway passera en souterrain à partir de la rue Dietzenbach, en forêt de Meudon, jusqu'à son terminus Viroflay - Rive droite. Creusé à une vingtaine de mètres de profondeur, un tunnel de 1,6 km de long et de 8 m de diamètre relie les deux stations souterraines.

### Un guidage mécanique des essieux par rail central

Les 14 km de la ligne sont divisés en 46 tronçons. Un tronçon correspond généralement à la zone comprise entre deux carrefours successifs et mesure en moyenne 300 mètres. À chaque tronçon correspond un phasage de travaux intégrant les aménagements de la voirie, la construction de la plateforme, la pose du rail de guidage, l'installation de la ligne aérienne de contact et les travaux de finition. Les chantiers sont menés simultanément sur plusieurs tronçons.

« Les grands principes technologiques - le guidage mécanique des essieux par rail central, notamment - sont identiques à ceux du tramway sur pneus de Clermont-Ferrand. Les retours d'expérience ont permis d'améliorer le matériel roulant, en ayant plus de robustesse et surtout de l'adapter aux exigences de sécurité incendie liées

à son emploi en tunnel. Au niveau de la plateforme, la solution en enrobés choisie à Clermont-Ferrand n'avait pas donné pleinement satisfaction, en raison des problèmes d'orniérage liés à une circulation très canalisée : passage-accélération-freinage des tramways, toujours aux mêmes endroits. Une étude réalisée par le LCPC a fini de nous convaincre de choisir une solution en béton, bien plus pérenne » précise Roger Ndouop Molu.

### Une dalle goudonnée en forme de toit

La plateforme se compose de deux voies de 2,80 m de large, disposées côte à côte sur tout le trajet. Sa largeur totale est donc de 5,60 m en section courante. Elle passe à 6 m dans les virages, zones où les voies doivent être un peu écartées.

« Cette plateforme se compose d'une couche de forme de classe PF2+ en grave non traitée compactée, d'une couche intermédiaire en béton de ciment de classe 3 (BC3) et d'une couche de roulement goudonnée en BC5g, chargée de reprendre l'ensemble des contraintes » précise Roger Ndouop Molu.

Deux groupements d'entreprises ont travaillé sur ce chantier : Signature -



Les paniers porte-goujons prêts à être posés, en moyenne tous les 5 mètres, dans le sens longitudinal de la couche de roulement en BC5.

Eurovia, côté Vélizy et le groupement Screg / Colas / Sacer, côté Châtillon.

« Le fond de forme a été réglé à 76 cm de profondeur. La couche de grave non traitée, épaisse de 35 cm, a été réglée à la niveleuse, puis compactée. Une machine à coffrage glissant a été employée pour réaliser la première demi-chaussée en BC3, épaisse de 18 cm. Dès le lendemain, le béton, fourni par BGIE (Béton Granulats Ile-de-France Est, du groupe Vicat), est suffisamment ferme pour que la chenille de la machine puisse s'y appuyer pour réaliser la seconde demi-chaussée. Sa joue de coffrage est relevée, le bord de la première demi-chaussée servant de coffrage à la seconde. Après la pose des paniers supportant les goujons et la mise en œuvre des ferrillages autour des émergences, la couche de roulement en BC5, épaisse de 23 cm, est réalisée de

la même manière que la précédente » explique Nicolas Brassier, directeur de travaux du groupement Screg / Colas / Sacer.

Pour éviter une éventuelle remontée de fissures, les deux couches de béton sont désolidarisées. « Une double pulvérisation de produit de cure est appliquée, au fur et à mesure, puis on réalise la demi-chaussée en BC5 » précise Nicolas Brassier.

Cette dalle continue en béton est goujonnée dans le sens longitudinal, en moyenne tous les 5 mètres. « Disposés à mi-hauteur de la dalle, ces goujons maintiennent les dalles solidaires dans le plan vertical et assurent un libre mouvement dans le plan horizontal. Des joints de retrait/flexion sont réalisés sur le tiers supérieur de la dalle, afin de contrôler la fissuration du béton. Ces joints sont étanchés par un produit souple, de type émulsion de bitume » commente Roger Ndouop Molu. Les deux demi-chaussées sont aussi liaisonnées entre elles par des aciers HA 12 qui les solidarisent et évitent l'ouverture du joint axial.

« Sur l'autre lot, la première couche est en grave-ciment enrichie. Elle est mise en œuvre par Eurovia au finisher, puis compactée avant d'être revêtue d'une émulsion gravillonnée. Celle-ci sert à désolidariser les deux couches de chaussée et à éviter ainsi les éventuelles remontées de fissures. La couche de BC5 est réalisée à la machine à coffrage glissant, avec

un béton formulé de manière à avoir un affaissement au cône d'Abrams compris entre 1 et 4 cm. Provenant de la centrale de béton prêt à l'emploi Unibéton (groupe Italcementi) d'Issy-les-Moulineaux, ou de celle de Trappes en complément, ce béton est coloré en noir à 3%. Il comporte des granulats de porphyre, choisis pour leur grande résistance à l'usure » précise Philippe Thierry, directeur de travaux chez Signature (groupe Eurovia).

« Servant à assurer le transfert des charges d'une dalle à l'autre et à éviter les phénomènes de battement de dalles, les goujons sont généralement disposés tous les 5 mètres. Dans le cas présent, ils le sont tous les 4 à 6 m pour s'adapter aux différentes particularités du chantier. Les arrêts de chantier sont toujours prévus au niveau d'un joint » ajoute Philippe Thierry.

Signalons également que le balayage de la surface de la couche de roulement, après le passage de la machine à coffrage glissant, vise à améliorer l'adhérence des pneus du tramway, notamment pour les jours pluvieux, dans les zones en pente.

### Une machine à coffrage glissant en milieu urbain

« Ce type d'engin, nommé « slip-form », est habituellement employé pour la réalisation d'autoroutes ou de pistes d'aéroports. Cette technique a été choisie, en effet, parce qu'elle permet un respect optimal de l'altimétrie prévue et une excellente qualité de l'uni de la couche de roulement. L'emploi d'une machine à coffrage glissant en milieu urbain est cependant très contraignant : elle donne un uni de meilleure qualité qu'une mise en œuvre manuelle, mais son emploi n'est pas totalement optimisé ici, car ce chantier est très morcelé. Cela demande donc une organisation très rigoureuse » commente Nicolas Brassier.

Ce que confirme Philippe Thierry : « Ce chantier permet, au mieux, de réaliser des coulages de 150 m<sup>3</sup>/jour en période de pointe. Il est, en effet, difficile d'optimiser les cadences avec le morcellement du chantier,



Le béton prêt à l'emploi fourni est un béton coloré en noir à 3% comportant des granulats de porphyre, choisis pour leur grande résistance à l'usure.



Le balayage de la surface de la couche de roulement vise à améliorer l'adhérence des pneus du tramway, notamment pour les jours pluvieux et dans les zones en pente.



Une double pulvérisation de produit de cure est effectuée juste après le passage de la machine à coffrage glissant.

*l'exiguïté des emprises, les contraintes d'accès... Il faut, par exemple, attendre que la toupie ait fini de déverser son chargement, puis quitté le chantier, pour que la suivante puisse y accéder à son tour ».*

« Cette plateforme se caractérise par sa forme en toit, avec une pente de 2% de part et d'autre de l'axe central. Les virages sont de type vélodrome, avec un relevé de plus ou moins 2%. La partie la plus délicate à réaliser est donc la zone de transition entre la partie courante et le virage » souligne Roger Ndouop Molu. « Pour obtenir la déclivité propre à chaque demi-chaussée dans ces zones de transition, il faut procéder en plusieurs étapes, en ajustant progressivement les réglages de la machine » précise Nicolas Brassier. Un certain nombre d'opérations restent manuelles, comme le traitement des émergences, avant

et après le passage de la machine. La plupart des carrefours sont également réalisés manuellement. Ils redeviennent tout à fait circulables au bout d'une semaine, grâce aux caractéristiques du béton employé.

### Une pose des rails réglée au millimètre près

« Sur un chantier d'une telle longueur, plutôt que de prévoir une réservation dans la plateforme pour accueillir le rail de guidage, une autre solution a été retenue : la création d'une engravure par sciage et fraisage, après la prise du béton. En effet, la pose du rail s'effectue au millimètre près et, grâce à cette engravure, il est plus facile de rattraper d'éventuelles petites imperfections au niveau du génie civil » commente Roger Ndouop Molu.

Un géomètre est chargé de contrôler la régularité de la plateforme et notamment son uni longitudinal. « Le profil en long doit présenter un minimum d'ondulations, mesurées grâce à un analyseur de profil en long en NPO (nombre de petites ondes). Ceci permet de respecter les tolérances de pose du rail vis-à-vis du béton (écart maximum de 5 mm à la règle de 3 m), mais aussi de garantir un roulement sans secousses, nuisibles pour le confort des voyageurs et pour la tenue mécanique du matériel » conclut Roger Ndouop Molu.

Si la mise en service de la section de surface (Châtillon/Vélizy-Villacoublay) est prévue pour la fin 2014, celle de la section souterraine (1 600 m sous Viroflay) est attendue pour 2015. ■

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maître d'ouvrage :

Conseil Général des Hauts-de-Seine, Conseil Général des Yvelines, RATP

#### Maîtrise d'œuvre :

Setec TPI / Riechen Robert (aménagement urbains et infrastructures), Egis Rail / Atelier Schall (section souterraine), RATP (systèmes du tramway), Marc Aurel (mobilier urbain)

#### Entreprises :

Eurovia (sous-traitant Signature) et groupement Screg / Colas / Sacer (infrastructures, dont plateforme béton), Eurovia Travaux Ferroviaires (rail de guidage et LAC)

#### Fournisseurs du béton :

Unibéton (groupe Italcementi) et BGIE (Béton Granulats Ile-de-France Est, groupe Vicat)

#### Fournisseurs du ciment :

Ciments Calcia et Vicat Ciment



À gauche : après la prise du béton et pour accueillir le rail de guidage, on crée une engravure par sciage et fraisage de la plateforme.  
À droite : on vérifie ensuite la bonne implantation du rail. Les boîtes à eau, placées de chaque côté de celui-ci, serviront à collecter les eaux pluviales.



Une piste pour piétons et vélos, réalisée en béton désactivé clair, longe la ligne de tramway et relie les stations entre elles.



Clairà (Pyrénées-Orientales) : l'extension-rénovation du centre commercial Carrefour a permis de passer de 30 à 70 boutiques et de créer un large espace piétonnier.

## À Clairà, un centre commercial valorisé par les bétons bouchardé et désactivé, les pavés béton et les jardinières en béton préfabriqué

**Le matériau béton entre pleinement dans la composition du vaste parvis construit à l'occasion de la rénovation et de l'extension du centre commercial de Clairà, ville de 4 000 habitants située à 10 km au nord de Perpignan, dans les Pyrénées-Orientales.**

La vie des centres commerciaux s'accommode des tendances profondes qui agitent la société, afin de rester en phase avec le plus grand nombre de consommateurs, amenés à arpenter les centaines de mètres linéaires de devantures ou de rayons garnis. La plupart des centres commerciaux sont donc à la pointe du design, parce que leur bâti et leurs abords participent à l'attraction des consommateurs.

Ce qui rend obligatoire, à intervalles réguliers, les rénovations, mais aussi les agrandissements pour offrir plus de surface de vente. Le centre commercial Carrefour à Clairà, au nord de Perpignan dans les Pyrénées-Orientales, vient de se voir offrir un long et profond « lifting » se traduisant par une galerie commerciale extérieure et une nouvelle galerie marchande couverte, le tout empreint d'un profond respect de l'environnement et d'une excellente

intégration du bâti dans le site.

« Le chantier, débuté en avril 2011 s'est achevé au début de 2013, a été confié à deux maîtres d'ouvrage différents car il y a, d'une part, une construction neuve et, d'autre part, la rénovation et l'agrandissement d'un centre commercial existant avec un hypermarché et une galerie marchande » explique Rémy Tourniaire, directeur de projet chez Screg. « L'espace, qui délimite le parvis devant les bâtiments, varie de



Béton bouchardé, béton désactivé, pavés béton, jardinières en béton préfabriqué : le matériau béton crée un espace invitant à déambuler devant les boutiques.

8 à 30 mètres de large : c'est une vraie esplanade, agrémentée d'espaces verts et plantés, ainsi que de jeux d'enfants qui ont été pensés soigneusement. Des efforts importants ont été consentis pour ce décor et le béton en fait partie ».

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :**  
Carrefour Property et Klépierre Ségécé

**Maîtrise d'œuvre :**  
D.G.L.a. Sud / Burotec avec TN+ co-traitant

**Entreprise principale :**  
Screg

**Mise en œuvre des bétons :**  
Sols Méditerranée

**Fournisseurs du béton prêt à l'emploi :**  
Unibéton (groupe Italcementi) et Cemex

**Fournisseur du ciment :**  
Ciments Calcia

### ■ Un arbre pour six voitures

Entre le parking de 2 700 places et les boutiques a été créé un espace qui permet de faire la transition entre le monde des voitures et le monde des piétons. Pour cela, des végétaux ont été retenus, plantés dans de grands bacs en béton préfabriqué, posés sur des sols colorés. Cette promenade a été pensée comme une rue longeant les vitrines des nouvelles surfaces de vente, mais aussi comme un lieu à vivre. Ainsi, au-delà de l'espace de circulation piétonne, on trouve des espaces de repos, des jeux et une piste cyclable en enrobé coloré beige qui serpente sur le site pour finir par aboutir devant l'une des grandes entrées du centre commercial. Piste qui sera raccordée plus tard aux voies cyclables passant à proximité et qui sillonnent le département.

« Nous étions jusqu'alors confrontés à un lieu utilisant uniquement de l'enrobé, avec quelques arbres, penchés à cause du vent. Nous avons alors pris le parti, dans l'espace neuf, de privilégier l'environnement en plantant un arbre pour six voitures » explique Hervé Houy, l'architecte-paysagiste de l'Agence TN+ qui a développé ce programme.

La végétation joue effectivement un rôle très important dans le projet qu'il a mené, tout autant que le soin apporté aux sols et à l'intégration d'éléments, destinés à sensibiliser le public aux questions d'environnement : éoliennes, manches à air, panneaux solaires...

### ■ Trois formulations distinctes de béton bouchardé

Le cheminement piétonnier qui longe les boutiques a été réalisé en béton bouchardé, avec trois formulations différentes pour obtenir trois teintes distinctes : un gris très clair presque blanc, un gris moyen et un gris foncé. Les bandes de bétons font 250 mètres de long pour 1 mètre de large en moyenne.

Le béton a largement été mis à contribution pour cette réalisation très soignée des abords du centre commercial rénové. Et le chantier s'est apparenté à un patient jeu de construction.

« Si nous avons mis en œuvre trois formulations différentes de béton pour les



Le parvis se présente sous forme de larges bandes de béton bouchardé dont les teintes différentes ont été obtenues en jouant sur la proportion des granulats clairs 6/16 de Murle et des granulats foncés 6/10 de basalte.



Le parvis est agrémenté de petites places dont la plus importante, associant béton désactivé et pavés béton, est située devant l'une des entrées du centre commercial.

trois tons de gris, nous avons conservé les mêmes granulats en jouant uniquement sur leurs concentrations » détaille Pierre Durif, conducteur de travaux dans l'entreprise Sols Méditerranée. « Le béton le plus clair est réalisé avec 100% de granulats 6/16 de Murle dans l'Hérault, le béton de couleur intermédiaire avec 50% de Murle et 50% de granulats 6/10 de basalte et le plus foncé avec les seuls granulats de basalte. Pour la placette la plus importante, on a mis en œuvre 100% de granulats 4/6 basalte et un béton un peu plus clair à 50/50 basalte et Murle. Nous avons d'abord posé les jardinières que nous avons fait réaliser dans un atelier de préfabrication puis, une fois, les éléments du relief en place, nous avons réalisé les sols. Nous avons inséré des profils en inox pour coffrer et faire les arrêts de coulage, et nous avons ensuite coulé du béton en fonction de ce canevas » témoigne Pierre Durif.

Le travail de bouchardage a été préféré par l'architecte à une désactivation classique, afin de donner une légèreté

apparente à l'ensemble, compte tenu de l'utilisation uniquement piétonne de l'aménagement puisque les voitures n'ont pas leur place dans cet espace. « Le seul cas de circulation de véhicules, envisagé sur cet espace, est celui des véhicules de secours. Ils emprunteront cette voie en béton au maximum une fois par an, pour les exercices » ajoute Rémy Tourniaire.

Au niveau technique, la mise en œuvre du béton a été très précise, comme le confirme Pierre Durif : « Pour empêcher l'eau d'entrer dans les joints, nous les avons scellés avec un produit souple, de type émulsion de bitume. L'ensemble des bétons a été mis en place sur une sous-couche de 20 cm d'épaisseur de grave 0/20 non traitée et compactée. Le béton a été coulé sur 13 cm d'épaisseur et ferrailé avec un treillis soudé ».

Et Hervé Houy de conclure : « Le béton est un matériau cohérent, notamment en termes de coûts et d'un excellent rapport qualité-prix. Mais surtout, il était parfaitement adapté à ce projet ». ■



## Remue-méninges

Voici, pour vous détendre... ou pour vous irriter, une énigme à résoudre. Réponse dans le prochain numéro de Routes.

### Le rail ou la route ?

Une usine située dans une ville A doit expédier des marchandises vers un centre commercial situé dans une ville B. La distance séparant les deux villes est notée « x ». Le responsable des expéditions de l'usine s'est interrogé sur le moyen le plus économique pour acheminer les marchandises : le rail ou la route ? Sachant que :

- Par chemin de fer, le coût du transport est proportionnel à la distance et il vaut « a » (€/t.100 km) auquel il faut ajouter un forfait de « b » (€/t) pour le transport usine-gare marchandises et un autre forfait « c » (€/t) pour le transport gare marchandises-centre commercial.

- Par route, le coût est également proportionnel à la distance de transport entre usine et centre commercial (distance supposée égale à « x ») et il s'élève à « d » (€/t.100 km). En outre, si les camions ont du fret en retour, le coût « d » est diminué de « e.f » (e est un forfait exprimé en €/t.100 km ; f est le pourcentage de remplissage au retour). Pour permettre aux clients de calculer les prix à l'avance, les transporteurs routiers ont adopté une règle qui stipule que le pourcentage de remplissage au retour varie en sens inverse de l'éloignement de leurs bases. En d'autres termes, ils admettent qu'ils ont d'autant moins de chances de trouver du fret en retour qu'ils s'éloignent davantage de leurs bases : au voisinage de leurs bases, le pourcentage de remplissage au retour est 100% et il diminue linéairement avec la distance pour s'annuler lorsque cette distance atteint la valeur de « g ».

1. Etablir les équations exprimant les coûts de transport d'une tonne, entre l'usine et le centre commercial, par rail et par la route.
2. Déterminer pour quelle valeur de « x » le mode de transport par rail est plus économique que celui de la route, sachant que : a = 12 €/t.100 km ; b = 3 €/t ; c = 3 €/t ; d = 15 €/t.100 km ; e = 5 €/t.100 km et g = 1500 km.

**Solution du Remue-méninges de Routes N°122 : Puissance sonore**  
**Rappel du problème posé :** deux groupes de haut-parleurs, comprenant respectivement deux et trois enceintes, sont installés sur une place. La distance qui sépare les deux groupes de haut-parleurs est de 50 m. À quel endroit faut-il se mettre pour que les sons émis par les deux groupes de haut-parleurs arrivent avec la même intensité ?

**Solution :** soit « i » l'intensité de chaque appareil de haut-parleur. Soit B l'endroit où se trouve le groupe de deux haut-parleurs. Soit C l'endroit où se trouve le groupe de trois haut-parleurs. Soit A l'endroit où il faut se placer pour que les sons émis par les deux groupes de haut-parleurs arrivent avec la même intensité. Soit « x » la distance qui sépare A de B. « 50 - x » est alors la distance qui sépare le point A de C.

Sachant que l'intensité du son diminue proportionnellement au carré de la distance, les sons émis par les deux groupes de haut-parleurs arrivent avec la même intensité aux points « x » solutions de l'équation :  $2.i / x^2 = 3.i / (50 - x)^2$  (1)

L'équation (1), après simplification, prend la forme de l'équation de second degré suivante :  $X^2 + 200.x - 5000 = 0$  (2)

L'équation (2) a deux solutions :  $x_1 = + 22,5$  et  $x_2 = - 222,5$

La solution positive  $x_1$  répond directement à la question posée.

Le point d'égalité d'intensité est situé à 22,5 mètres du groupe comprenant deux haut-parleurs et à 27,5 mètres du groupe de trois haut-parleurs.

La solution négative n'est pas à rejeter. Le signe « - » signifie qu'un second point d'égalité d'intensité, désigné par D, existe et qui est défini comme suit : **Les points D, B, A et C sont alignés.**

$$BD = 222,5 \text{ m et } CD = 222,5 + 50 = 272,5 \text{ m}$$

Il existe donc deux points d'égalité sonore sur la droite qui relie les sources de sons B et C. Il n'y en a pas d'autres points d'égalité d'intensité sur la droite BC. Mais, il y a d'autres points d'égalité d'intensité situés à l'extérieur de BC.

On peut démontrer que le lieu géométrique des points d'égalité d'intensité est un cercle de diamètre AD. Ce cercle limite une aire à l'intérieur de laquelle l'intensité des sons émis par le groupe de deux haut-parleurs est supérieure à celle des sons émis par le groupe de trois haut-parleurs. À l'extérieur du cercle, l'intensité du groupe de trois haut-parleurs est supérieure à celle du groupe de deux haut-parleurs.



## Agenda

### Journées techniques Cimbéton 2013

« Les liants hydrauliques pour la valorisation des matériaux en place à froid » (1 journée)

Paris : jeudi 24 octobre

« Les liants hydrauliques pour le retraitement des chaussées en place à froid » (1/2 journée)

Lyon : mardi 16 avril

Colmar : jeudi 30 mai

Rennes : jeudi 27 juin

Bordeaux : jeudi 19 septembre

Bourges : jeudi 21 novembre

**Invitations disponibles sur simple demande auprès de Cimbéton.**

### 18-19 juin 2013 (Marne-la-Vallée) Colloque TerDOUEST 2013 « Le traitement des sols pour un terrassement durable »

Ce colloque propose 4 thématiques majeures : « La description des mécanismes physico-chimiques à l'origine des modifications mécaniques des sols traités - La durabilité des phénomènes et des ouvrages réalisés en sols traités - La réalisation des travaux de traitement de sols dans le métier du terrassement - L'impact développement durable des solutions de traitement de sol, y compris sous l'angle des risques ».

**Contact :** Séverine Beaunier - Tél. : +33 (0)1 44 58 28 07 -

Email : severine.beaunier@enpc.fr



7, Place de la Défense

92974 Paris-la-Défense cedex

Tél. : 0155230100 - Fax : 0155230110

Email : centrinfo@cimbeton.net

Site Internet : www.infociments.fr